

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАСТИКОВОЙ НИТИ ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРОВ

Аннотация

Рассмотрена задача повышения точности изготовления пластиковой нити для 3D-принтеров. Особенность её состоит в необходимости поиска параметров регулятора, которые обеспечивают повышенную точность переходного процесса. Предложен вариант решения задачи, удовлетворяющий требованиям по точности и робастности.

Ключевые слова: автоматическая стабилизация; 3D-печать; синтез регулятора; вещественный интерполяционный метод; робастность.

Abstract

The task of improving accuracy of manufacturing plastic filaments for 3D-printers. Feature of necessary the research controller parameters which provide improved accuracy of the transient. The variant of solving problem satisfying the requirements accuracy and robustness.

Keywords: automatic stabilization, 3D-printing, synthesis regulator, the real interpolation method, robustness.

1. Введение

В последние годы активно развиваются аддитивные технологии изготовления деталей и изделий. Они позволяют не только создавать рабочие образцы деталей, но и выявлять особенности проектируемой детали на этапах подготовки производства, используя технологии 3D-печати. Наиболее доступной и распространённой технологией печати считается FDM-метод (Fused deposition modeling - метод послойного наплавления), характеризующийся низкой стоимостью работ и материалов.

Изготовление деталей высокого качества по технологии FDM требует соответствующего качества нити, из которой будет изготавливаться предмет. В отрасли существует два стандарта для диаметра нити - 1.75 мм и 2.85 мм. При этом производители расходных материалов считают «золотым правилом» для диаметра прутка допуск ± 0.05 мм [1]. В настоящее время не все производители способны обеспечить такую точность. Это в конечном итоге сказывается на ограничениях по точности изготавливаемых изделий, так как неточности диаметра нити выливаются в объемные погрешности 3D-изделия. В перспективе это несоответствие будет более заметной, что требует рассмотрения способов стабилизации диаметра нити при ее изготовлении.

Для получения высококачественной пластиковой нити с допустимым отклонением по диаметру необходимо учитывать большое количество факторов. Проверки показали, что факторов, влияющих на диаметр нити, много. К существенным можно отнести температуру расплава, скорость вращения шнека экструдера, химический состав пластика, температуру окружающей среды, наличие определенных добавок в полимере и т.д. Такое многообразие свидетельствует о том, что задача изготовления нити с достаточно стабильным диаметром оказывается важной для практики, но непростой в ее решении. Очевидным шагом в этом направлении является создание системы автоматического управления (САУ), которая позволяет уменьшить влияние всех возмущающих воздействий на процесс изготовления нити. В дальнейшем, возможно, потребуются другие меры, расширяющие функции системы управления, например, компенсация влияния одного-двух наиболее сильно действующих возмущений.

2. Автоматическая стабилизация диаметра нити

Разработка системы автоматической стабилизации диаметра нити требует знания основных факторов, влияющих на процесс экструзии, а также степени их влияния на стабилизируемый параметр. Опыты показали, что к наиболее влиятельным возмущениям относятся два: температура нагревательных элементов экструдера и скорость вращения шнека.

Была получена экспериментальная зависимость диаметра нити от температуры нагревателя при неизменной фильере размером 1.7 мм и неизменной скорости экструзии. Она показана на рисунке 1 для материала ABSKUMHO 750SW. Из графика видно, что зависимость близка к линейной, что создает благоприятные условия для управления. Отклонения от линейного закона естественны для подобных экспериментов, тем более что результаты других опытов также выявляют отклонения, которые по их расположению и величине можно отнести к случайным.

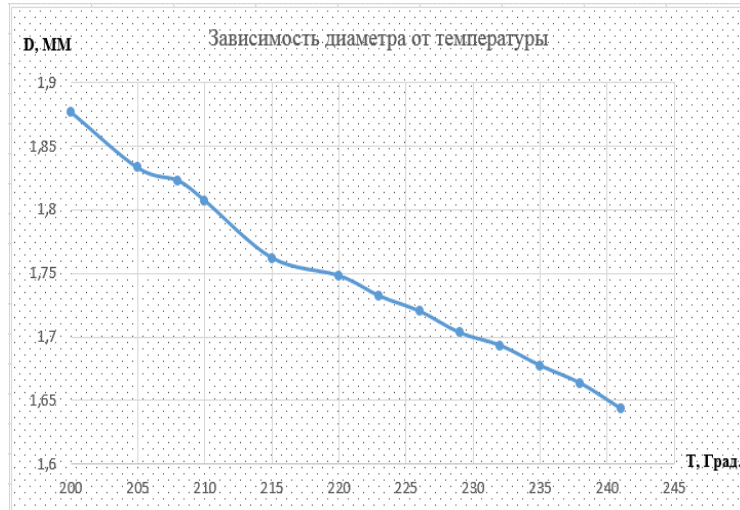


Рис. 1. График зависимости диаметра пластиковой нити от температуры нагревательного элемента экструдера

Полученная зависимость совпадает с физическими представлениями: текучесть пластика повышается с увеличением температуры расплава. График полезен также тем, что он позволяет выбрать рабочую температуру, при которой диаметр пластиковой нити соответствует диаметру фильеры. На основании полученной зависимости можно принять решение о стабилизации нити за счет изменения температуры расплава. Эта возможность важна в том отношении, что она позволяет заменить сложное в практическом отношении управление диаметром нити косвенным, но более простым способом управления диаметром - за счет изменения температуры расплава. Эта замена позволяет устранить трудности, связанные с использованием датчика диаметра: он дорог, вносит существенное запаздывание в измерительный тракт.

Вторым фактором, оказывающим заметное влияние на диаметр нити, является скорость вращения шнека экструдера. Одна из экспериментальных зависимостей диаметра нити от скорости вращения приводного двигателя шнека, представлена на рисунке 2.

Как видим, скорость вращения оказывает существенное влияние на диаметр нити, и она также может быть использована для управления интересующей нас координатой.

Для реализации системы стабилизации была выбрана возможность управления температурой расплава за счет изменения напряжения на нагревательных элементах. Операторно-структурная схема системы управления представлена на рисунке 3.



Рис. 2. График эксперимента зависимости диаметра пластиковой нити от скорости привода экструдера

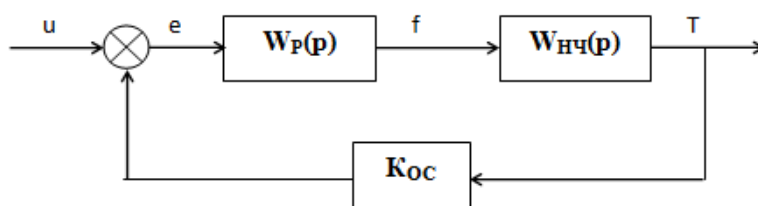


Рис. 3. Система автоматического управления температурой экструдера

Обозначения на схеме: $W_p(p)$ – передаточная функция регулятора; $W_o(p)$ – передаточная функция неизменяемой части; K_{oc} – коэффициент обратной связи; u – входное напряжение; T – температура. Представленная система автоматического управления (САУ) имеет особенность – запаздывание в объекте управления на время τ .

3. Синтез регулятора системы автоматического управления диаметром нити экструдера

Для синтеза регулятора САУ температуры расплава, как и любой другой системы, необходимо знать ее неизменяемую часть, требования, которые предъявляются к системе, и структуру регулятора [2].

Передаточная функция неизменяемой части, включающей нагреватель и преобразователь, получена по кривой разгона [3]. Она имеет вид: $W_{нч}(p) = [56/(1527p + 1)] \exp(-24p)$. Ее особенность является характерной для тепловых объектов – имеется запаздывание на 24 секунды в распространении сигнала от входа к выходу. Такая особенность должна быть учтена при синтезе регулятора.

Желаемая передаточная функция может быть сформирована по требованиям к эталонной модели САУ, которые сформулированы на основе опытных и прогнозируемых данных: перерегулирование не более $\sigma_{жс} = 5\%$, желаемое время регулирования $t_p^{жс} = 600$ с. По этим данным можно синтезировать желаемую передаточную функцию системы многими известными методами. В этой задаче использован метод Коновалова – Огурка, который позволяет найти коэффициенты структуры $W_{жс}^3(p) = G_0 \cdot \left(\frac{\alpha_1}{2} p + 1 \right) / (\alpha_0 p^2 + \alpha_1 p + 1)$, где G_0 – установившееся значение выходной величины, $\alpha_0 = f(t_p^{жс}, \sigma_{жс})$, $\alpha_1 = f(\alpha_0, t_p^{жс})$ – постоянные, вычисляемые по известным выражениям в зависимости от параметров $\sigma_{жс}$ и $t_p^{жс}$ [6]. В результате была получена желаемая передаточная функция $W_{жс}^3(p) = (13334p + 210) / (8466p^2 + 127p + 1)$.

Передаточная функция регулятора $W_p(p)$ неизвестна, но ее структуру можно выбрать на основе априорных знаний в отношении подобных систем управления [2; 3]. Примем ПИД-регулятор. Для определения его коэффициентов нужно составить и решить уравнение син-

теза. В описаниях замкнутой системы оно имеет вид $W_{жс}^3(p) \cong F[W_p(p), W_{нч}(p), k_{oc}]$. С вычислительной точки зрения удобнее использовать равносильное уравнение в описаниях разомкнутой САУ [2]

$$W_{жс}^p(p) \cong W_p(p)W_{нч}(p), \quad (1)$$

в котором передаточная функция желаемой разомкнутой системы $W_{жс}^p(p)$ однозначно найдется по известному описанию замкнутой САУ $W_{жс}^3(p)$ по формуле размыкания.

Для поиска приближенного решения уравнения нужно преобразовать его в определенную систему уравнений относительно искоемых коэффициентов регулятора. Для этого можно воспользоваться частотным методом [2], однако наличие мнимой переменной делает расчеты сравнительно объемными. Поэтому обратимся к вещественному интерполяционному методу (ВИМ) [4], который позволяет сформировать более простую систему уравнений по сравнению с частотным подходом. Это достигается тем, что изображение по Лапласу $F(p)$, $p = \delta + j\omega$ заменяется вещественной функцией-изображением $F(\delta)$, $\delta \in [C, \infty]$, $C \geq 0$, отражающим частный случай преобразования Лапласа. Такой переход позволяет воспользоваться хорошо разработанными численными методами, использовать микропроцессорную технику, повышает наглядность результатов, обладает некоторыми другими преимуществами. В результате использования ВИМ уравнение (1) последовательно можно представить в вещественной форме

$$W_{жс}^p(\delta) \cong W_p(\delta) \cdot W_{нч}(\delta), \quad (2)$$

затем на основе дискретизации – в численной записи

$$W_{жс}^p(\delta_i) \cong W_p(\delta_i) \cdot W_{нч}(\delta_i), i = \overline{1, \eta}, \quad (3)$$

где η – число неизвестных коэффициентов регулятора. Соотношение (3) представляет собой систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которая при различных узлах $\delta_i, i = 1, 2, \dots, \eta$ имеет решение и оно единственно [4].

С учетом выполненных преобразований СЛАУ (2) можно записать в развернутой форме:

$$\frac{13334\delta + 210}{8466\delta^2 + 73,66\delta + 0,16} = \frac{b_2 p^2 + b_1 \delta + b_0}{a_2 \delta^2 + a_1 \delta + 1} \cdot \frac{56}{1527\delta + 1} \cdot e^{-24\delta}, \delta \in [0, \infty]. \quad (4)$$

Непосредственно перед решением этого уравнения выполним традиционный предварительный этап – аппроксимацию звена запаздывания рациональной дробью. Этот этап можно выполнить также на основе ВИМ. Не приводя детали решения, покажем конечный результат: $e^{-24p} \cong (-8p + 1)/(98p^2 + 16p + 1)$. Переведем это приближение в вещественную форму, затем подставим в основное уравнение (4) и выполним переход к дискретной форме (3). Получим

$$\frac{13334\delta_i + 210}{8466\delta_i^2 + 73,66\delta_i + 0,16} = \frac{b_2 \delta_i^2 + b_1 \delta_i + b_0}{a_2 \delta_i^2 + a_1 \delta_i + 1} \cdot \frac{56}{1527\delta_i + 1} \cdot e^{-24\delta_i}, \delta_i \in [0, \infty].$$

Полученное соотношение представляет собой систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которая при различных узлах $\delta_i, i = 1, 2, \dots, \eta$ имеет решение и оно единственно [2].

Для нескольких вариантов узлов были получены решения, из которых выбрано наиболее подходящее по определенному критерию. Кроме того, был рассмотрен вариант синтеза регулятора без выполнения этапа аппроксимации, что позволяет делать ВИМ, но невозможно сделать другими методами. Проверка точности решения была выполнена по амплитудно-фазовым частотным характеристикам и показала приемлемое совпадение синтезированной и желаемой систем.

Список использованных источников

1. Интернет-источник, доступ свободный: <http://bootsindustries.com/the-importance-of-high-quality-3d-printer-filament>.
2. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления.
3. Экспериментальное определение передаточной функции нагревателя экструдера [Электронный ресурс] / Тхан Вьет Зунг, Д.Ю. Берчук // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 9-13 ноября 2015 г. в 2т.
4. Goncharov V.I., Aleksandrov I.A., Rudnitsky V.A., Liepinsh A.V. Real Interpolation Method for Automatic Control Problem Solution. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014.
5. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления. Г.А. Дидук, А.С. Коновалов, И.А. Огурек, Л.А. Осипов, А.А. Воронов, И.А. Огурек. – М.: Наука, 1984. – 343 с.

УДК 378.4

И. И. Боброва, Е. Г. Трофимов

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

ДИСТАНЦИОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация

Дистанционное обучение является новой ступенью в развитии заочного образования с принципиально новым подходом. В статье авторы рассматривают существующие технологии дистанционного обучения, используемого в России, формы дистанционных занятий. Дается определение образовательной среды. Авторы раскрывают суть педагогических проблем, начиная с содержания педагогического процесса; управления этим процессом с позиции системы, учитывающим отношения между обучающим и обучаемым. Организация процессов передачи и усвоения знаний, умений и навыков; управление регулярным обменом информации; педагогическая диагностика и почти полная самостоятельная деятельность пользователя (слушателя) в образовательном процессе. Использование облачных технологий является удачным решением задачи организации коммуникационных транзакций. Авторы рассматривают наиболее удачные для организации дистанционного обучения характеристики облачных технологий. Затрагивают проблему формирования образовательного контента.

Ключевые слова: дистанционные технологии; образовательная среда; облачные технологии; образовательный контент.

Abstract

Distance learning is a new step in development of the correspondence education with essentially new approach. In article authors consider the existing technologies of the distance learning used in Russia, forms of remote occupations. Definition of the educational environment is given. Authors open an essence of pedagogical problems, since the content of pedagogical process; managements of this process from a position of system considering the relations between training and trained. Organization of processes of transfer and assimilation of knowledge, skills; management of a regular exchange of information; pedagogical diagnostics and almost full independent activity of the user (listener) in educational process. Use of a cloud computing is the successful solution of a task of the organization of communication transactions. Authors consider the most successful for